عوامل مؤثر بر کارایی انرژی در گلخانه‌های خیار منطقه مرکزی استان اصفهان

مرضیه شاکریان[۱]، علی یوسفی[۱*]، امیرمظفر امینی[۱] و علیرضا نیکویی[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۱۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۱۹)

چکیده

هدف این پژوهش محاسبه کارایی انرژی از روش تحلیل پوششی داده‌ها و شناسایی عوامل مؤثر بر آن در گلخانه‌های تولید خیار منطقه مرکزی استان اصفهان بود. داده‌های موردنیاز از طریق پرسش‌نامه و مصاحبه با ۸۱ گلخانه‌دار در سال ۱۳۹۵ جمع‌آوری شد. نتایج نشان داد که تحصیلات بالاتر گلخانه‌دار تأثیر مثبتی بر کارایی انرژی گلخانه داشت، در حالی که افزایش سابقه کار گلخانه‌دار و استفاده بیشتر از نیروی کار خویشاوندی باعث کاهش کارایی انرژی شد. از میان کانال‌های ارتباطی نیز بازدید از سایر گلخانه‌ها و مشورت با فروشندگان نهاده‌های کشاورزی بیشترین تأثیر مثبت را بر بهبود مصرف انرژی داشت. تشویق گلخانه‌داران به الگوپذیری و بازدید از گلخانه‌های کارا می‌تواند منجر به کاهش مصرف انرژی شود. با توجه به ارتباط نزدیک گلخانه‌داران با فروشندگان نهاده‌های کشاورزی، ارتباط متقابل مروجین و کارشناسان با این فروشندگان موجب انتقال مشکلات و نظرات گلخانه‌داران به مراکز علمی و پژوهشی مربوطه می‌شود و از سوی دیگر می‌تواند انتقال دستاوردها و دانش جدید از مراکز علمی و پژوهشی به کشاورزان را تسهیل کند.

واژه‌های کلیدی: تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)، سوخت فسیلی، کانال‌های ارتباطی کشاورزان، اصفهان

مقدمه

کشت گلخانه‌ای به‌دلیل دارابودن قابلیت چندین دوره تولید در سال و همچنین صرفه‌جویی در مصرف آب از اهمیت فراوانی در مناطق خشک و نیمه‌خشک برخوردار است (۶). سطح زیر کشت سبزیجات گلخانه‌ای در جهان در سال ۲۰۱۸ به ۴۹۶/۸ هزار هکتار افزایش یافته که ۲۲۵ هزار هکتار آن در قاره آسیا بوده است (۱۱).

با توجه به بحران کم‌آبی و سهم زیاد مصرف آب در بخش کشاورزی، توسعه کشت گلخانه‌ای از مهم‌ترین برنامه‌های وزارت جهاد کشاورزی است. دولت در ماده ۳۵ برنامه ششم توسعه کشور (۱۴۰۰-۱۳۹۶) مکلف شده به‌منظور مقابله با بحران کم‌آبی و ارتقای بهره‌وری، از توسعه گلخانه‌ها حمایت کند (۲). سطح زیر کشت محصولات گلخانه‌ای ایران در سال ۱۳۹۶، ۹/۳ هزار هکتار بوده که ۹۱/۲ درصد آن را سبزیجات گلخانه‌ای به خود اختصاص داده و از این سهم ۷۰ درصد مربوط به سطح زیر کشت محصول خیار بوده است. استان

۱. گروه توسعه روستایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
۲. مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان
*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: ayousefi@iut.ac.ir

اصفهان نیز از نظر میزان و سطح تولید محصولات گلخانه‌ای رتبه چهارم را در کشور پس از استان‌های تهران، یزد و کرمان دارد (۳). از سوی دیگر، با توجه به خشکی رودخانه زاینده‌رود و عدم دسترسی به آب سطحی در میان و پایین‌دست این حوضه، توسعه کشت گلخانه‌ای در شرق اصفهان به‌عنوان یکی از راه‌کارهای اصلی ایجاد معاش جایگزین کشاورزان در مقابله با کمبود آب در دستور کار قرار گرفته است.

با وجود اهمیت و مزیت‌های کشت گلخانه‌ای، مسئله نگران کننده آن است که این سیستم به انرژی و سوخت‌های فسیلی به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم وابستگی شدیدی دارد (۲۳). مصرف گاز طبیعی بخش کشاورزی در سال ۱۳۹۵، ۱۹۶۹ میلیون مترمکعب بوده که استان اصفهان با ۱۰/۲ درصد مصرف بخش کشاورزی کل کشور، رتبه چهارم را پس از استان‌های مازندران، تهران و یزد دارا بوده است. مصرف گازوئیل بخش کشاورزی در سال ۱۳۹۵، ۲/۷ میلیارد لیتر بوده که استان اصفهان با ۵/۷ درصد کل مصرف گازوئیل در بخش کشاورزی کل کشور، رتبه پنجم را در کشور دارا بوده است. همچنین، بخش کشاورزی در سال ۱۳۹۵، ۱۵ درصد کل برق فروخته شده توسط وزارت نیرو را معادل ۳۶/۲ هزار گیگاوات ساعت به خود اختصاص داده که از این میزان سهم بخش کشاورزی استان اصفهان برابر با ۷/۷ درصد پس از استان‌های فارس، خراسان رضوی و کرمان بوده است. تغییر اقلیم و گرمایش کره زمین در کنار مصرف زیاد انرژی در تولیدات گلخانه‌ای از چالش‌های اصلی فراروی این سیستم کشاورزی است. با توجه به مشکلات فزاینده افزایش سالیانه مصرف انرژی در کشور، افزایش کارایی انرژی از مهم‌ترین راهبردهای دستیابی به کشاورزی پایدار در کشور است (۲۲).

توسعه بی‌رویه کشت‌های گلخانه‌ای بدون انجام سیاست‌گذاری‌های مناسب و عدم توصیه‌های مشاوره‌ای و کارشناسی لازم، موجب ناکارایی آنها می‌شود. پژوهش‌های مختلف نشان داده‌اند که از مشکلات اساسی کشت سبزیجات گلخانه‌ای وابستگی زیاد به سوخت‌های فسیلی و ناکارایی انرژی است (۱۵، ۱۶، ۲۵، ۲۸ و ۳۰). اسفنجانی و همکاران (۱۳۹۵) نشان دادند که در گلخانه‌های تولید خیار استان تهران افزایش مصرف نهاده‌ها از افزایش در تولید پیشی گرفته که سبب کاهش کارایی مصرف انرژی شده است (۱۳). پهلوان و همکاران (۲۰۱۲) نیز با تخمین کارایی فنی و بازگشت به مقیاس گلخانه‌های تولید خیار با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها نشان دادند که با کارانمودن گلخانه‌های ناکارا، حدود ۳۰/۲۷ درصد در کل انرژی ورودی می‌تواند صرفه‌جویی شود (۲۹).

همچنین بررسی‌ها نشان داده که مصرف انرژی در گلخانه‌های خیار بیش از سایر محصولات است. کناکسی و همکاران (۲۰۰۴) با مقایسه کارایی انرژی سبزیجات گلخانه‌ای مانند خیار، گوجه‌فرنگی و فلفل دلمه‌ای در آنتالیا ترکیه نشان دادند که خیار در مجموع بیشترین سهم را در مصرف انرژی با ۱۳۴/۷۷ گیگاژول در هکتار دارا است (۸). مقدم و همکاران (۱۳۸۹) نیز میانگین مصرف انرژی تولید یک کیلوگرم خیار گلخانه‌ای پائیزه و بهاره در شهرستان مشهد را به‌ترتیب ۱/۲ و ۰/۹ مگاژول برآورد کردند (۳۳) که با توجه به سهم ۸۰ درصدی تولید خیار گلخانه‌ای از کل محصولات گلخانه‌ای کشور، تولید خیار گلخانه‌ای می‌تواند اهمیت به‌سزایی در مصرف انرژی بخش کشاورزی داشته باشد.

در مورد نقش نهاده‌های مختلف در مصرف انرژی، بیشتر پژوهش‌ها سوخت و الکتریسیته را مهم‌ترین عوامل دانسته‌اند. هر چند در برخی پژوهش‌ها بر نقش مصرف کود شیمیایی نیز تأکید شده است. نتایج احمد بیگی و همکاران (۱۳۹۲) نشان داد که سوخت و الکتریسیته بیشترین سهم را در مصرف انرژی گلخانه‌های خیار شهرستان قزوین دارد (۱). اوزاکان (۲۰۱۱) با بررسی الگوی مصرف انرژی گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای در ترکیه نشان داد کود شیمیایی و الکتریسیته مهم‌ترین مصرف‌کنندگان انرژی هستند (۲۷). در گلخانه‌های خیار شهرستان تهران سوخت فسیلی و کود شیمیایی به‌ترتیب با ۴۱/۹ و ۱۹/۶ درصد بیشترین سهم را در مصرف انرژی به خود اختصاص داده بودند

(۲۵). نتایج پژوهش کارلوس ریکاردو و همکاران (۲۰۱۲) نیز نشان داد که از مهم‌ترین عوامل مصرف انرژی در گلخانه‌ها استفاده از کودهای شیمیایی است (۷).

در پژوهش‌هایی که به دنبال بررسی عوامل مؤثر بر کارایی انرژی بوده‌اند، در بیشتر موارد با رویکرد اقتصادسنجی تابع تولید برازش شده و عوامل تبیین کننده اختلاف کارایی انرژی را تنها منتسب به سطح نهادهای مورداستفاده دانسته‌اند (۱۲، ۱۵، ۱۶ و ۲۵-۳۰) که تاکتیک‌ها و راهبردهای مدیریتی گلخانه‌داران را یکسان فرض می‌کند (۱۸). تصمیم‌گیری جوهر اصلی مدیریت است، به‌گونه‌ای که می‌توان آنها را با یکدیگر مترادف دانست (۳۸) و در این میان، گلخانه‌دار نیز به‌عنوان مدیر گلخانه، با فعل تصمیم‌گیری سروکار دارد. بنابراین، درک و شناسایی چگونگی تصمیم‌گیری گلخانه‌داران و کانال‌ها و منابعی که گلخانه‌داران از آن طریق اطلاعات کسب می‌کنند، مهم است (۱۷، ۲۱، ۳۱، ۳۲ و ۴۱). برای مثال، دانستن آنکه گلخانه‌دار از چه طریق اطلاعات لازم در مورد انتخاب نوع گلخانه، نوع پوشش گلخانه، نوع سوخت، رویه‌های مدیریتی روزانه در استفاده از سوخت فسیلی و ... را اخذ می‌کند، اهمیت به‌سزایی در افزایش کارایی انرژی دارد و سیاست‌گذاران می‌توانند راهبردها و خط‌مشی‌ها افزاینده کارایی انرژی را از طریق مسیرها و منابع اطلاعاتی کارآمدتر با قابلیت اجرایی بیشتر توصیه و اجرا نمایند. هدف اصلی این پژوهش، شناسایی کانال‌های اصلی اطلاعاتی کشاورزان در گلخانه‌داری و اثر این کانال‌ها بر کارایی انرژی بود.

مواد و روش‌ها

ارزیابی عملکرد و کارایی گلخانه‌ها به‌منظور کسب اطمینان از پرسودترین وضعیت ممکن و همچنین جلوگیری از به هدر رفتن منابع مورد استفاده از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بررسی کارایی فنی واحدهای گلخانه نیاز به تعیین مرز کارا با استفاده از یکی از روش‌های پارامتریک و یا ناپارامتریک دارد. روش‌های پارامتریک مبتنی بر تحلیل تابع تولید مرز تصادفی است که از روش‌های آماری استفاده می‌شود. بارزترین ویژگی روش‌های غیرپارامتری عدم نیاز به تخمین توزیع یا شکل خاص تابع تولید است. یکی از مهم‌ترین روش‌های غیرپارامتری، تحلیل پوششی داده‌ها است (۱۰ و ۳۴). در این روش با استفاده از مجموعه اطلاعات مربوط به محصول نهایی و همچنین کلیه عوامل و نهاده‌های مؤثر و مورد استفاده در فرآیند تولید، کارایی نسبی واحدها سنجیده می‌شود (۱۰). در این بررسی برای سنجش کارایی انرژی از روش تحلیل پوششی داده‌ها با بازده ثابت نسبت به مقیاس از رابطه (۱) استفاده شد. مدل مورد استفاده نهاده‌گرا بود که میزان کاهش نهاده‌ها (با ثابت‌ماندن سطح ستانده‌ها) برای رسیدن به مرز کارایی مشخص می‌شود (۳۶):

$$\begin{aligned} &\text{Max}: \theta_p = \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rp} \\ &\text{s.t.}: \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ip} = 1 \\ &\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} \le 0 \quad \forall j \quad j = 1,\dots,n \\ &u_r \ge \varepsilon \,,\; v_r \ge \varepsilon \end{aligned} \qquad (1)$$

y نماد ستانده و x نماد نهاده، $x_{ij}(i = 1,\dots,m \,,j = 1,\dots,n)$ و $y_{rj}(r = 1,\dots,s \,,j = 1,\dots,n)$، i امین نهاده و r امین ستانده مربوط به تولید کننده مورد نظر j)، m و s به‌ترتیب تعداد نهاده‌ها و ستانده‌های هر واحد تولیدی و n نشان دهنده تعداد گلخانه‌ها است. v_i و u_r به‌ترتیب وزن نهاده و ستاده هستند. $\varepsilon > 0$ یک عنصر غیرارشمیدسی که کوچک‌تر از هر عدد حقیقی مثبت است. کارایی نسبی تولید کننده مورد نظر به‌صورت ارزش بیشینه، θ_p تعریف شده که در فاصله $0 \le \theta_p \le 1$ قرار می‌گیرد. کارایی فنی گلخانه‌های با بیشینه کارایی انرژی عدد یک بوده و مقادیر کمتر از یک تا صفر بیانگر سطح عدم کارایی گلخانه است.

با توجه به مدل، مقادیر مصرف بهینه با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد (۳۶):

$$\begin{aligned} x_{ip}^{*} &= x_{ip}\theta_p - s_i^{-} \\ y_{rp}^{*} &= y_{rp}\theta_p + s_{rp}^{+} \end{aligned} \qquad (2)$$

جدول ۱. ویژگی‌های گروه‌های همگن ایجاد شده با توجه به عوامل مؤثر بر انرژی در یک نگاه

عوامل مؤثر	گروه همگن ۱	گروه همگن ۲	گروه همگن ۳	گروه همگن ۴
منطقه جغرافیایی	شهرستان اصفهان (دستگرد خیار)	شهرستان‌های مبارکه، فلاورجان (شهر ابریشم حسن‌آباد یزد آباد) و سایر	شهرستان‌های اصفهان و برخوار، فلاورجان (کارویه)، نجف آباد و مبارکه	شهرستان فلاورجان بخش پیربکران
سازه گلخانه	چوبی سنتی	چوبی سنتی و فلزی	فلزی	چوبی سنتی
فرم گلخانه	تک واحدی	تک واحدی و بهم پیوسته	بهم پیوسته	تک واحدی
پوشش گلخانه	پلاستیک ایرانی	پلاستیک ایرانی	پلاستیک ایرانی	پلاستیک ایرانی
منبع آب آبیاری	چاه	چاه	چاه	چاه
سیستم آبیاری	بیشتر ثقلی	ثقلی و قطره‌ای	بیشتر قطره‌ای	ثقلی و قطره‌ای
سیستم گرمایشی	کوره هوای گرم	کوره‌هوای گرم، بخاری معمولی و سایر	کوره هوای گرم، بخاری معمولی و سایر	کوره هوای گرم، بخاری معمولی و سایر
سیستم سرمایشی	سایه دادن، دریچه	سایه دادن، دریچه و فن	سایه دادن فن، فن و پد، دریچه و سایر	سایه دادن، دریچه
سوخت	گازوئیل	گازوئیل	گاز و گازوئیل	گازوئیل
پنجره یا دریچه‌ها	کناری	سقفی، کناری یا هر دو	سقفی، کناری یا هر دو، بال کبوتری	سقفی و کناری

این بررسی از نظر هدف کاربردی و از لحاظ گردآوری داده‌ها توصیفی-پیمایشی است. داده‌های مورد نیاز از گلخانه‌های تولیدکننده خیار، در منطقه مرکزی استان اصفهان جمع‌آوری شد. حجم نمونه مورد نیاز با استفاده معادله (۳) برآورد شد (۱۰، ۳۵، ۳۶ و ۴۰):

$$n >= \max\{m*s\ ۴,\ ۳(m+s)\} \qquad (۳)$$

در این معادله m تعداد پارامترهای ورودی، s تعداد پارامترهای خروجی، و n تعداد گلخانه‌ها است. پارامتر خروجی در این بررسی انرژی محصول خیار است و پارامترهای ورودی معادل انرژی نیروی انسانی، ماشین‌های کشاورزی، بذر یا نشاء، کود دامی، مواد شیمیایی، گوگرد، قارچ‌کش، حشره‌کش، علف‌کش، کود شیمیایی نیتروژنه، فسفات، پتاسیم، کود میکرو، سازه، نایلون، آب آبیاری، سوخت و الکتریسیته است. در واقع مدل دارای ۱۸ ورودی و ۱ خروجی است. بنابراین داده‌های مورد نیاز از ۸۱ گلخانه‌دار جمع‌آوری شد. به‌منظور شناسایی گلخانه‌داران همگن، از روش خوشه‌بندی دو مرحله‌ای استفاده شد و سپس با انتساب متناسب با جمعیت هر خوشه، تعداد نمونه هر خوشه مشخص شد (جدول ۱).

ابزار گردآوری اطلاعات شامل مصاحبه ساخت‌یافته، مشاهده و داده‌های ثبتی بود. پرسش‌نامه شامل پرسش‌هایی بدین شرح بود: ویژگی‌های فردی گلخانه‌دار (تحصیلات، سن و سابقه گلخانه‌داری)؛ مشخصات فنی گلخانه (مساحت، موقعیت، سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی و نوع سوخت)، مشخصات کشت (فصل کشت، نوع کشت، عملیات مختلف زراعی، مقدار نهاده‌های مورداستفاده و عملکرد محصول) و کانال‌های ارتباطی گلخانه‌داران در قالب طیف ۵ گزینه‌ای لیکرت. با توجه به نقش نهاده‌های سوخت فسیلی و الکتریسیته، کود و سموم شیمیایی، سازه گلخانه و میزان آب مصرفی در مصرف انرژی گلخانه، عوامل مؤثر بر تصمیم‌گیری گلخانه‌داران در انتخاب نوع سازه و پوشش گلخانه، وسایل و

تجهیزات سرمایشی و گرمایشی، انتخاب نوع و میزان سوخت مصرفی وسایل گرمایشی، سیستم آبیاری و درنهایت نوع و میزان مصرف کود و سموم شیمیایی مورد شناسایی و ارزیابی قرار گرفت. کانال‌های ارتباطی گلخانه‌دار، شرکت در کلاس‌های آموزشی، بازدید و مشورت با سایر گلخانه‌داران، استفاده از رسانه‌های رادیو و تلویزیون، اینترنت، روزنامه و مجلات عمومی، مشورت با مروجین و کارشناسان اداره جهاد کشاورزی و استفاده از امکانات ترویجی (مجلات، نشریات، فیلم‌های آموزشی)، تجربه شخصی و مشورت با فروشندگان نهاده‌های کشاورزی در نظر گرفته شد.

در بررسی مقدماتی تعداد ۳۰ پرسشنامه تکمیل شده و پس از اعمال اصلاحات لازم، پرسشنامه نهایی تدوین شد. روایی محتوایی پرسشنامه با قضاوت متخصصان تأیید شد و برای تعیین میزان تناسب متغیرها در ماتریس همبستگی از آماره KMO بهره گرفته شد (۰/۷۱) و در سنجش قابلیت اعتماد پرسشنامه از ضریب آلفای کرونباخ استفاده شد (۰/۸۲).

با مروری بر پژوهش‌های پیشین، اطلاعات موردنیاز در زمینه هم‌ارزهای انرژی مورد نیاز استخراج شد (۳۵). به‌منظور بررسی عوامل مؤثر بر کارایی انرژی گلخانه‌ها از مدل رگرسیون خطی استفاده شد و نرمال بودن جزء اخلال مدل رگرسیونی، عدم وجود واریانس ناهم‌سانی و نبود هم‌خطی مدل مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به تعدد انواع مسیرهای اطلاعاتی، به‌منظور اجتناب از هم‌خطی و کاهش درجه آزادی مدل رگرسیونی از شاخص ترکیبی استفاده شد. از این‌رو، شاخص ترکیبی انواع کانال‌های ارتباطی مانند شرکت در کلاس آموزشی، بازدید از سایر گلخانه‌ها، روزنامه و مجلات عمومی، رادیو، تلویزیون و اینترنت، مراکز پژوهشی، تجربه شخصی و فروشندگان نهاده‌های کشاورزی در انتخاب نوع سازه، نوع پوشش گلخانه، تجهیزات و وسایل سرمایشی و گرمایشی، نوع سوخت مصرفی، نوع و میزان مصرف کود شیمیایی، نوع سیستم آبیاری، نوع و میزان مصرف آفت‌کش‌ها و سایر سموم شیمیایی از طریق تحلیل عاملی ساخته شد. در این بررسی از نرم‌افزارهای GAMS نسخه ۲۳، Excel و SPSS (نسخه ۱۹) استفاده شد.

نتایج

میانگین سن و سابقه گلخانه‌داران مورد مطالعه ۴۰/۷ و ۱۹ سال بود و سطح تحصیلات ۳۴ درصد آنها دبیرستان تا دیپلم و ۱۷ درصد پاسخگویان دارای تحصیلات دانشگاهی بودند که ۸۶ درصد دانش‌آموخته رشته‌های غیرمرتبط با کشاورزی بودند. میانگین مساحت گلخانه‌ها ۲/۳۷ هکتار بود که ۶۸ درصد دارای سازه چوبی سنتی و مابقی دارای سازه فلزی گالوانیزه (جوشی یا پیچ و مهره‌ای) بودند. همچنین، ۸۳/۸ درصد گلخانه‌ها دارای سیستم گرمایشی گازوئیل‌سوز و ۱۶/۲درصد مابقی، گازسوز بودند (جدول ۲).

شش درصد گلخانه‌ها دارای فصل کشت پاییزه (آغاز کشت از مردادماه تا اواخر آبان ماه) و ۹۴ درصد مابقی دارای فصل کشت بهاره بودند. همچنین، ۴۱ درصد گلخانه‌داران تولید بهاره خیار را از اسفند ماه آغاز می‌کنند. ۳۷/۵ درصد گلخانه‌ها از سیستم آبیاری ثقلی (جوی و پشته) و ۶۲/۵ درصد از سیستم آبیاری قطره‌ای برخوردار بودند. همچنین، تعداد لایه‌های پوشش گلخانه‌ها عبارت است از: ۳۹/۵ درصد یک‌لایه، ۵۳/۱ درصد دولایه و ۷/۴ درصد سه‌لایه. ۶۳ درصد گلخانه‌ها دارای فرم تک‌واحدی و مابقی به هم پیوسته بودند. نوع پنجره‌های به‌کار رفته در ساختمان گلخانه‌ها، بیشتر دیواری و سقفی بود (جدول ۲). انرژی تولیدی در گلخانه‌های موردبررسی، ۱۶۶/۱ گیگاژول بر هکتار بود که نهاده‌های سوخت و الکتریسیته مجموعاً حدود ۹۰ درصد از انرژی ورودی را به خود اختصاص دادند (جدول ۳).

کانال‌های ارتباطی گلخانه‌داران

گلخانه‌داران مورد بررسی، از منابع اطلاعاتی و کانال‌های ارتباطی تجربه شخصی و بازدید از سایر گلخانه‌ها به‌ترتیب

جدول ۲. سیمای کلی گلخانه‌های مورد بررسی

ویژگی		فراوانی	درصد	ویژگی		فراوانی	درصد
تحصیلات	بی‌سواد و کم‌سواد	۱۹	۲۳	سوخت مصرفی	گاز	۱۳	۱۶
	راهنمایی	۲۰	۲۵		گازوئیل	۶۳	۷۸
	دبیرستان	۲۸	۳۴		هیچ‌کدام	۵	۶
	دانشگاهی	۱۴	۱۷		بهاره (اسفند)	۳۴	۴۱
سابقه کار (سال)	۲-۱۰/۶	۵	۶	فصل کشت	بهاره (بهمن)	۲۸	۳۵
	۱۰/۷-۱۹/۲	۷	۸		بهاره (آذر)	۱۳	۱۶
	۱۹/۳-۲۷/۳۸	۲۰	۲۴		پاییزه	۶	۸
	۲۷/۸-۳۶/۴	۱۹	۲۳		۰/۵-۲/۹	۶۲	۷۶
	۳۶/۵-۵۴/۵	۳۳	۴۱/۱		۳-۵/۴	۱۳	۱۶
سن	تا ۴۰	۴۴	۵۴	مساحت (هکتار)	۵/۵-۸	۶	۸
	۴۱ تا ۵۵	۲۲	۲۷		هیچ	۵	۶
	بیش از ۵۶	۱۵	۱۹		کم	۲۱	۲۶
تعداد لایه پوششی	یک	۳۲	۳۹/۵	استفاده از نیروی کار فامیلی	متوسط	۲۴	۵۱
	دو	۴۳	۵۳		زیاد	۰	۰
	سه	۶	۷/۵		خیلی زیاد	۳۱	۱۶

منبع: یافته‌های پژوهش

جدول ۳. میزان انرژی مصرفی هریک از نهاده‌ها، ستاده‌ها و درصد مصرف آن

نهاده	انرژی (مگاژول بر هکتار)	درصد	نهاده	انرژی (مگاژول بر هکتار)	درصد
سوخت	۵۷۱۵۴۲۰	۷۴/۸۳	سازه	۳۴۹۳۰۳	۵/۵۵
الکتریسیته	۵۵۸۴۵۵/۹۰	۱۶/۱۶	ماشین‌آلات	۲۷۹۲/۸۶	۰/۰۸۰
سموم شیمیایی	۳۶۵۱۱/۷۱	۱/۰۵۱	نشاء و بذر هکتار	۴۶/۷۱	۰/۰۰۱
کود شیمیایی	۳۰۱۰۲/۹۲	۰/۴۷	کود آلی	۱۱۷۱۹/۳۱	۰/۳۳
نایلون	۱۳۲۸۷/۲۵	۰/۳۸	آب	۱۱۵۰۳/۰۴	۰/۳۳
نیروی کار	۱۳۲۳۷/۳	۰/۳۸	حشره‌کش	۴۶۴۹/۶۹	۰/۱۳
کود آلی	۱۱۷۱۹/۳۱	۰/۳۳			
کل نهاده‌ها	۳۲۳۲۵۲۸	۱۰۰	ستاده: خیار	۱۶۶۰۶۲/۳	–

منبع: یافته‌های پژوهش

۷۷/۷ و ۴۸/۱۵ درصد به میزان زیاد و خیلی زیاد استفاده می‌کنند. همچنین، ۲۶ درصد گلخانه‌داران از کانال فروشندگان نهاده‌های کشاورزی، به‌میزان متوسط تا زیاد تأثیر می‌پذیرند؛ ۶ تا ۱۵/۳ درصد گلخانه‌داران نیز از سایر کانال‌های تصمیم‌گیری

جدول ۴. منابع اطلاعاتی و کانال‌های ارتباطی گلخانه‌داران (درصد)

میزان تأثیر	مروجین و کارشناسان	کلاس آموزشی	بازدید از سایر گلخانه‌ها	روزنامه	رادیو، تلویزیون و اینترنت	تجربه شخصی	متخصصین سازنده گلخانه و فروشندگان نهاده‌ها
هیچ	۸۴/۱	۸۳/۱	۱۲/۳۵	۸۸/۸۹	۹۰/۳	۱۳/۵۸	۶۶/۶۷
کم	۷/۱۷	۵/۹۴	۱۱/۱۱	۳/۷	۶/۲۳	۴/۹۴	۴/۹۴
متوسط	۸/۱۷	۲/۴۷	۲۸/۴۰	۶/۱۷	۱/۲۳	۷۰/۳	۱۹/۷۵
زیاد	۲/۴۷	۷/۴۱	۲۷/۱۶	۱/۲۳	۰	۱۴/۸۱	۶/۱۷
بسیار زیاد	۰	۰	۲۰/۹۹	۰	۱/۲۳	۶۲/۹۶	۲/۴۷

أخذ: یافته‌های پژوهش

به میزان کم تا متوسط استفاده می‌کنند (جدول ۴).

شناسایی عوامل مؤثر بر کارایی انرژی

به‌منظور شناسایی عوامل مؤثر بر کارایی انرژی از رگرسیون چند متغیره استفاده شده است. ضریب تعیین مدل رگرسیونی ۰/۶۵ بود (جدول ۵). کارایی انرژی گلخانه‌هایی که مدیرشان دارای تحصیلات دانشگاهی است به‌ترتیب ۰/۱۲۵ و ۰/۲۱۸ بیشتر از گلخانه‌داران با تحصیلات "ابتدایی تا دیپلم" و بی‌سواد بود. همچنین، گلخانه‌داران دارای سابقه کار ۲ تا ۱۵ سال نسبت به گلخانه‌داران با سابقه کار گلخانه‌داری بیشتر کارایی انرژی بیشتری داشتند. در سطح اطمینان ۹۹ درصد، اختلاف معنی‌داری بین کارایی گلخانه‌هایی که از سوخت‌های گاز و گازوییل استفاده می‌کردند در مقایسه با عدم استفاده از سوخت وجود داشت. همچنین، با افزایش مساحت و عملکرد گلخانه‌ها، کارایی انرژی بهبود می‌یابد (جدول ۵).

استفاده از نیروی کار فامیلی به میزان متوسط و زیاد نیز، در سطح اطمینان ۹۵ درصد بر کارایی انرژی تأثیرگذار بوده و باعث کاهش کارایی انرژی شد. بررسی نقش منابع اطلاعاتی و کانال‌های ارتباطی نشان داد که به ترتیب بازدید از سایر گلخانه‌ها، مشورت با فروشندگان نهاده‌های کشاورزی و استفاده از کانال "تلویزیون، رادیو و اینترنت" بیشترین تأثیر را بر افزایش کارایی انرژی داشته است.

بحث

انرژی سوخت و الکتریسیته بیشترین سهم را در صرفه‌جویی مصرف انرژی داشت که با پژوهش‌های دیگر در این مورد همخوانی دارد (۱۴، ۱۹، ۲۹ و ۳۹). گلخانه‌هایی که در وسایل گرمایشی گلخانه از سوخت‌های فسیلی گازوییل و گاز استفاده می‌کنند، کارایی انرژی بیشتری در مقایسه با گلخانه‌هایی که از وسایل گرمایشی استفاده نمی‌کنند؛ دارند. دلیل این یافته آن است که این گلخانه‌ها دارای عملکرد بیشتری بوده و با توجه به آنکه کارایی گلخانه‌ها بر اساس نسبتی از وزن‌های ورودی و خروجی محاسبه می‌شود؛ به نظر می‌رسد که افت انرژی خروجی ناشی از کاهش برداشت محصول خیار بیش از کاهش انرژی ورودی به‌دلیل عدم استفاده از وسایل گرمایشی است. بنابراین، مصرف سوخت باعث افزایش کارایی نسبت به عدم استفاده از آن شده است. هر چند، امکان صرفه‌جویی در مصرف سوخت‌های فسیلی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای تا حدود ۵۰ درصد بدون افت تولید در این گلخانه‌ها وجود دارد (۳۵). استفاده از سوخت‌های فسیلی و به‌ویژه سوخت گاز باید با احتیاط و حساب‌گرانه باشد. سوخت گاز نسبت به گازوئیل، به میزان بسیار بیشتری در واحد سطح سوزانده می‌شود و به‌علت قیمت کمتر ملاحظات صرفه‌جویی در مصرف آن کمتر اعمال می‌شود.

استفاده از نیروی کار فامیلی به میزان متوسط و زیاد باعث کاهش کارایی انرژی شد. به نظر می‌رسد استفاده از نیروی کار خانوادگی با هزینه فرصت کم برای گلخانه‌داران به‌صرفه باشد

جدول ۵. عوامل مؤثر بر کارایی انرژی در گلخانه

متغیر		ضریب	ضریب استاندارد	معنی‌داری
ضریب ثابت		۰/۷۴		۰
عملکرد در هکتار		۰/۰۰۴	۰/۲۴۶	۰/۰۱۶*
سازه (پایه: چوبی)		-۰/۱۲۴	-۰/۳۳۱	۰/۰۵
مساحت گلخانه		۰/۰۰۰۰۲۴	۰/۲۲	۰/۰۳۶*
تحصیلات پایه: بی‌سواد	ابتدایی تا دیپلم	۰/۰۹۳	۰/۲۵۷	۰/۰۲۹*
	تحصیلات دانشگاهی	۰/۲۱۸	۰/۴۵	۰/۰۰۳**
سابقه کار گلخانه‌داری پایه: کمتر از ۱۴ سال	بیش از ۱۴ سال	-۰/۱۴	-۰/۳۸۴	۰/۰۰۴**
فصل کشت پایه: بهاره-اسفند ماه	بهاره-بهمن ماه	-۰/۰۳۲	-۰/۰۸۷	۰/۵۴
	بهاره-آذر ماه	۰/۰۲۱	۰/۰۴۲	۰/۷۶
	پاییزه	-۰/۱۷۹	-۰/۲۲	۰/۵۴
سوخت وسایل گرمایشی پایه: عدم استفاده	گاز	۰/۳۴۵	۰/۸۴۹	۰/۰۰۱**
	گازوییل	۰/۱۹۲	۰/۵۲۲	۰/۰۰۲**
منابع اطلاعاتی و کانال ارتباطی	کلاس آموزشی	۰/۰۳۱	۰/۱۷۷	۰/۱۱۲
	بازدید از سایر گلخانه‌ها	۰/۰۵۳	۰/۳	۰/۰۳۵*
	روزنامه و مجلات عمومی	-۰/۱۱۴	-۰/۲۷۴	۰/۰۱۶*
	رادیو و تلویزیون و اینترنت	۰/۰۳۹	۰/۲۲۱	۰/۰۲۸*
	مراکز پژوهشی	-۰/۰۲	-۰/۱۱۶	۰/۳۸۲
	تجربه شخصی	۰/۰۳	۰/۱۶۸	۰/۱۴۱
	فروشندگان نهاده‌ها	۰/۰۵	۰/۲۸۴	۰/۰۱*
استفاده از نیروی کار فامیلی پایه: عدم استفاده از نیروی کار فامیلی	کم	-۰/۱	-۰/۲۴۲	۰/۱۳۴
	متوسط	-۰/۱۱۹	-۰/۳۳۸	۰/۰۴**
	زیاد	-۰/۱۴۵	-۰/۲۷۳	۰/۰۴۷**

منبع: یافته‌های پژوهش، ** و * به‌ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح ۱ و ۵ درصد است.

ولی از طرف دیگر، استفاده از نیروی کار کم‌مهارت و بی‌تخصص، باعث افزایش مدت‌زمان انجام عملیات زراعی، هدر دادن نهاده‌های مورد استفاده و انجام عملیات زراعی به‌صورت غیرحرفه‌ای و حتی صدمه به گیاه و یا محصول می‌شود. همچنین، به‌کارگیری تعداد نیروی کار بیشتر و عدم فرمان‌بری ازجمله معایبِ این نوع نیروی کار است. لذا، به‌کارگیری نیروی کار بامهارت و باتجربه منجر به افزایش کارایی انرژی در گلخانه‌ها می‌شود. در حین مصاحبه نیز تعدادی از گلخانه‌دارن به نقش کارگر بامهارت و مشورت و نظرخواهی از آنها در بهبود شرایط گلخانه اشاره کردند.

گلخانه‌داران با سن و سابقه کار زیاد، بیشتر متکی بر تجربه شخصی خود هستند که نشان می‌دهد گلخانه‌دارانی که شیوه‌های ناکارآمدی را سالیان متمادی استفاده کرده‌اند، به علت عدم آگاهی از کارانبودن رویه‌ی فعلی، آن را ادامه داده‌اند. این موضوع در پژوهش‌های دیگر نیز نشان داده شده که گلخانه‌داران در زمینه مسائل فنی نیاز به آموزش بیشتری دارند،

چرا که نظر شخصی خود را بیشتر اعمال می‌کنند (۳۷). استفاده گلخانه‌داران از منابع اطلاعاتی و کانال‌های ارتباطی بازدید از سایر گلخانه‌ها و مشورت با فروشندگان نهاده‌های کشاورزی، کارایی انرژی گلخانه‌ها را افزایش می‌دهد. از این‌رو می‌توان با آگاه‌سازی گلخانه‌داران از ناکارایی شیوه عملیاتی مورداستفاده و معرفی گلخانه‌داران کارا به‌عنوان الگو و تشویق سایر گلخانه‌داران به‌کارگیری شیوه‌های آنها در عملیات کشت و کار، انتخاب تجهیزات و سازه و نهاده‌های مورداستفاده، صرفه‌جویی در مصرف انرژی صورت پذیرد.

تحصیلات دانشگاهی گلخانه‌داران نقش مؤثری در بهبود مهارت‌های مدیریتی آنها و ارتقاء کارایی مصرف انرژی گلخانه داشته است. بنابراین، دانش و تحصیلات مرتبط نسبت به سابقه‌ی کاری، اثر بیشتری بر بهبود کارایی انرژی دارد که پژوهش‌های دیگر نیز نقش تحصیلات را در موفقیت تولید در کشت‌های گلخانه‌ای پراهمیت دانسته‌اند (۴).

نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت صرفه‌جویی در مصرف سوخت و الکتریسیته، تمهیداتی مانند ارتقاء بهره‌وری وسایل گرمایشی، استفاده از پوشش‌های پلاستیکی مناسب و چندلایه، کاربرد فناوری مناسب در سیستم‌های تهویه و پنجره‌ها، احداث اتاق ایزوله پیش از ورود به گلخانه، درزگیری کامل پوشش گلخانه، کنترل کمینه و بیشینه دما، افزایش کارایی پمپ‌های الکتریکی در سیستم‌های آبیاری می‌تواند در کاهش مصرف انرژی راهگشا باشد که نیازمند بررسی بیشتر نقش هریک از این اقدامات در پژوهش‌های آینده وجود دارد. همچنین، تشویق گلخانه‌داران به‌صرفه‌جویی در مصرف سوخت‌ها به‌ویژه سوخت گاز و آموزش گلخانه‌داران برای کاهش مصرف از طریق بازدید از گلخانه‌های کارا و آگاه‌سازی آنها از منافع این کار پیشنهاد می‌شود. کشاورزان و گلخانه‌داران با فروشندگان نهاده‌های کشاورزی مانند سم و کود ارتباط بیشتر و نزدیک‌تری دارند. بنابراین، ارتباط متقابل و دوسویه بین این فروشندگان با مروجین و کارشناسان موجب انتقال مشکلات و نظرات گلخانه‌داران به مراکز علمی و پژوهشی مربوطه می‌شود. همچنین انتقال دستاوردهای جدید از مراکز علمی و پژوهشی به کشاورزان می‌تواند از طریق این کانال ارتباطی انجام شود و بدین‌ترتیب مروجین می‌توانند به آموزش فروشندگان و آگاه‌سازی آنها نیز بپردازند. بنابراین، هرکدام از این کانال‌ها می‌تواند راهگشای دستیابی به هدف بهبود کارایی انرژی گلخانه‌ها شود.

منابع مورد استفاده

1. Ahmad Beygi, A., D. Mohammadzamani and M. Gholami Pareshkouhi. 2013. Investigation and determination of energy indices in greenhouse production of cucumber by DEA method in Qazvin province. J. Biosyst. Eng. 2: 77–94. (In Farsi)
2. Anonymous. 2016. *Iran's Sixth Five-Year Development Plan*. Plan and Budget Organization of Iran: Iran. (In Farsi)
3. Anonymous. 2018. *National Agricultural Statistics*. Ministry of Agriculture. (In Farsi)
4. Barzegar, R. and J. M. Allah Yari. 2005. *Evaluation of Greenhouses and Their Management in Chaharmahal-o-Bakhtiari Province* in *First National Conference on Greenhouse Technology*. 2005, Gilan ACECR: Gilan, Iran. (In Farsi)
5. Battese, G. E., S. J. Malik and M. A. Gill. 1996. An investigation of technical inefficiencies of production of wheat farmers in four districts of Pakistan. J. Agr. Econ. 47: 37–49.
6. Baudoin, W., R. Nono-Womdim, N. Lutaladio, A. Hodder, N. Castilla, C. Leonardi, S. De Pascale, M. Qaryouti and R. Duffy. 2013. *Good Agricultural Practices for Greenhouse Vegetable Crops: Principles for Mediterranean Climate Areas*. FAO.
7. Bojacá, C. R., H. A. Casilimas, R. Gil and E. Schrevens. 2012. Extending the input–output energy balance methodology in agriculture through cluster analysis. Energy 47: 465–470.
8. Canakci, M. and I. Akinci. 2006. Energy use pattern analyses of greenhouse vegetable production. Energy 31: 1243–1256.

9. Chauhan, N. S., P. K. Mohapatra and K. P. Pandey. 2006. Improving energy productivity in paddy production through benchmarking—an application of data envelopment analysis. Energ. Convers. Manage. 47: 1063−1085.
10. Cooper, W. W., L. M. Seiford and K. Tone. 2006. *Introduction to Data Envelopment Analysis and Its Uses: With DEA-Solver Software and References*. Springer Science & Business Media.
11. Cuesta-Roble. 2018. *International Greenhouse Vegetable Production Statistics*. C. R. g. consultants
12. Esengun, K., O. Gündüz and G. Erdal. 2007. Input–output energy analysis in dry apricot production of Turkey. Energ. Convers. Manage. 48: 592−598.
13. Esfanjari Kenari, R., M. Shaabanzadeh, P. Jansooz and A. Omidi. 2015. Analysis energy consumption in greenhouse cucumber production (a case study in Tehran province). Iran. J. Biosyst. Eng. 46: 125−134. (In Farsi)
14. Firoozi, S., M. J .Sheikhdavoodi and S. Mohammadi Farani. 2014. Optimizing energy consumption efficiency for greenhouse cucumber production using the data envelopment analysis technique in Lorestan Province of Iran. Int. J. Adv. Biol. Biomed. Res. 2: 636−649.
15. Hatirli, S. A., B. Ozkan and C. Fert. 2006. Energy inputs and crop yield relationship in greenhouse tomato production. Renew. Energ. 31: 427-438.
16. Heidari, M. D. and M. Omid. 2011. Energy use patterns and econometric models of major greenhouse vegetable productions in Iran. Energy 36: 220−225.
17. Isaya, E. L. 2015. Sources of agricultural information for women farmers in Tanzania. Master of Science, Graduate Program in Agricultural and Extension Education, The Ohio State University, Columbus, USA.
18. Kay, R., W .Edwards and P. Duffy, *Farm Management, 6th*. 2008, McGraw Hill Higher Education, London.
19. Khoshnevisan, B., S. Rafiee, M. Omid and H. Mousazadeh. 2013. Reduction of CO2 emission by improving energy use efficiency of greenhouse cucumber production using DEA approach. Energy 55: 676−682.
20. Kouchaki, A. and S. M. R. Hosseyni. 1991. *Energy Flows in Agricultural Ecosystems*. Javid Publication. Mashhad, Iran.
21. Krajewski, J. M. T. 2017. Media, influence, and agriculture: understanding the clashing communication about Iowa's water quality crisis. PhD Thesis. University of Iowa. Iowa, USA.
22. Li, N., Y. Jiang, H. Mu and Z. Yu. 2018. Efficiency evaluation and improvement potential for the Chinese agricultural sector at the provincial level based on data envelopment analysis (DEA). Energy 164: 1145−1160.
23. Lodovica Gullino, M., R. Albajes and J. C. Lenteren. 1999. Setting the Stage: Characteristics of Protected Cultivation and Tools for Sustainable Crop Protection. pp. 1−15. *In*: R. Albajes, et al. (Eds.). *Integrated Pest and Disease Management in Greenhouse Crops*, Springer Netherlands, Dordrecht.
24. Mirmohammady Maibody, S. A. M. 2002. *Research Methodology in Biological Sciences with Emphasis on Agriculture*. Isfahan University of Technology. Isfahan, Iran.
25. Mohammadi, A. and M. Omid. 2010. Economical analysis and relation between energy inputs and yield of greenhouse cucumber production in Iran. Appl. Energ. 87: 191−196.
26. Mohammadshirazi, A., A. Akram, S. Rafiee, S. H. Mousavi Avval and E. Bagheri Kalhor. 2012. An analysis of energy use and relation between energy inputs and yield in tangerine production. Renew. Sust. Energ. Rev. 16: 4515−4521.
27. Ozkan, B., R. F. Ceylan and H. Kizilay. 2011. Comparison of energy inputs in glasshouse double crop (fall and summer crops) tomato production. Renew. Energ. 36: 1639−1644.
28. Ozkan, B., R. F. Ceylan and H. Kizilay. 2011. Energy inputs and crop yield relationships in greenhouse winter crop tomato production. Renew. Energ. 36: 3217−3221.
29. Pahlavan, R., M. Omid and A. Akram. 2012. Application of data envelopment analysis for Performance assessment and Energy efficiency improvement opportunities in greenhouses cucumber production. J. Agric. Sci. Technol. 14: 1465−1475.
30. Pishgar-Komleh, S. H., M. Omid and M. D. Heidari. 2013. On the study of energy use and GHG (greenhouse gas) emissions in greenhouse cucumber production in Yazd province. Energy 59: 63−71.
31. Rogers, E. M. 2003. Diffusion of Innovations. Free Press. New York 551.
32. Rogers, E. M. and F. F. Shoemaker. 1971. *Communication of Innovations; A Cross-Cultural Approach*. Free Press. New York. USA.
33. Sanaei Moghadam, A., H. Aghel and H. Hajmohmmadi, 2010. *Examining and determine the energy consumption for the production of greenhouse cucumber (soil cultivation)*, In: *1th National Conference on Agricultural Mechanization and New Technologies*. Ahvaz, Iran.
34. Sefeedpari, P., S. Rafiee and A. Akram. 2012. Selecting energy efficient poultry egg producers: a fuzzy data envelopment analysis approach. Int. J. Appl. Oper. Res. 2: 77−88.
35. Shakerian, M., A. Yousefi and A.M. Amini. 2017. Energy efficiency improvement and CO_2 emission reduction in greenhouse cucumber production. J. Sci. Technol. Greenhouse Culture 8: 13−25. (In Farsi)

36. Shokouhi, A.H., A. Hatami-Marbini, M. Tavana and S. Saati. 2010. A robust optimization approach for imprecise data envelopment analysis. Comput. Ind. Eng. 59: 387−397.
37. Shokrizadeh, M. 2003. Factors affecting on success or failure of greenhouse management in Isfahan, Master of Science, Ramin University of Agriculture and Natural Resources. Ahvaz, Iran. (In Farsi)
38. Simon, H. A. 2013. *Administrative Behavior*. Simon and Schuster. USA.
39. Taki, M., Y. Ajabshirchi, R. Abdi and M. Akbarpour. 2012. Analysis of energy efficiency for greenhouse cucumber production using data envelopment analysis (DEA) technique; case study: Shahreza Township. J. Agri. Mach. 2: 28−37. (In Farsi)
40. William, F. 1998. Measuring performance: an introduction to data envelopment analysis (DEA). Energ. Policy 15(2): 3−27.
41. Zulfiqar, F. and G. B. Thapa. 2018. Determinants and intensity of adoption of “better cotton” as an innovative cleaner production alternative. J. Clean. Prod. 172: 3468−3478.

Factors Affecting on Energy Efficiency of Greenhouse Cucumber Production in Central Region of Isfahan Province, Iran

M. Shakerian[1], A. Yousefi[1*], A. M. Amini[1] and A. Nikouei[2]

(Received: 5 February 2019; Accepted: 8 February 2020)

Abstract

The aim of this study is to determine the energy efficiency of greenhouse cucumber production using Data Envelopment Analysis (DEA) method and to assess its main determinants in central region of Isfahan province, Iran. Data were collected through structured questionnaire and via face-to-face interview with 81 greenhouse farmers in 2016. The results showed that the higher level of farmer's education played a positive role in improving energy efficiency, while long years of farming experience and using more family labor force had a negative effect. Among the farmer's communication channels, visiting other greenhouses and consulting with agricultural input suppliers had the most positive effect on greenhouse energy conservation. Designing a process for visiting and following energy-efficient greenhouses can lead to less energy consumption. Due to the close relationship of the greenhouse farmers with the agricultural input vendors, mutual connection of outreach experts with agricultural input vendors plays a role in linking farmers and scientific and research centers and facilitates the exchange of problems and information, and knowledge and technology transition.

Keywords: Data Envelopment Analysis (DEA), Fossil fuel, Farmer's communication channels, Isfahan.

1. Dept. of Rural Dev., College of Agric., Isfahan Univ. of Technol., Isfahan, Iran.
2. Isfahan Agric. and Nat. Res. Res. and Educ. Cent., AREEO, Isfahan, Iran.
* Corresponding Author, Email: ayousefi@iut.ac.ir